

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-027279

(43)Date of publication of application : 05.02.1993

(51)Int.Cl.

G02F 1/35
G02F 1/025

(21)Application number : 03-181228

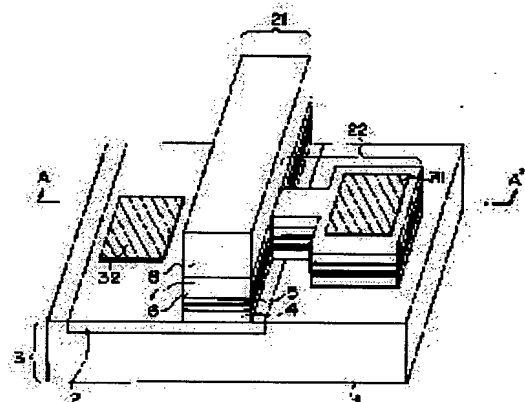
(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(22)Date of filing : 22.07.1991

(72)Inventor : TAKEUCHI HIROAKI
KAMITOKU MASAKI
YOSHIMOTO NAOTO
HASUMI YUJI
KONO KENJI
WATABE NAOYA

(54) SEMICONDUCTOR OPTICAL MODULATOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide the waveguide type optical modulator by a low operating voltage and voltage impression of a low device loss.**CONSTITUTION:** A 1st stripe structure consisting of a semi-insulating clad layer 4, a semi-insulating waveguide layer 5, a semi-insulating clad layer 7, and a semi-insulating clad layer 8 and a 2nd stripe structure consisting of the layers 4 to 7 are intersected and disposed on a substrate 3 contg. a conductive clad layer 2. The electric field is impressed to the optical waveguide layer 5 by impressing a reverse bias voltage between the substrate 1 and the 2nd stripe. The formation of the conductive clad layer 7 as a thin layer is possible and, therefore, the low operating voltage is attained. In addition, the light absorption of the propagated light in the conductive clad layers 2 and 7 is decreased and the low loss is attained.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 20.03.1998

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2982835

[Date of registration] 24.09.1999

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

Japanese Patent Application Laid-open No. 5-27279 (1993)

(11)Publication Number: 5-27279

(43)Date of Publication: February 5, 2003

(51)International Classification: G02F 1/35 1/025

(21)Application No.: 3-181228

(22)Application Date: July 22, 1991

(71)Applicant: 000004226

NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION

1-1-6, Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

(72)Inventor TAKEUCHI HIROAKI

C/O NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION

1-1-6, Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

(72)Inventor KAMITOKU MASAKI

C/O NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION

1-1-6, Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

(72)Inventor YOSHIMOTO NAOTO

C/O NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION

1-1-6, Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

(72)Inventor HASUMI YUJI

C/O NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION

1-1-6, Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

(72)Inventor KONO KENJI

C/O NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION

1-1-6, Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

(72)Inventor WATABE NAOYA

C/O NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION

1-1-6, Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo

(74)Agent: Patent Attorney Yoshikazu TANI (and other)

(54) [Title of the Invention] Semiconductor optical modulator

(57) [Abstract]

[Object] There is provided a waveguide type optical modulator by voltage application of a low operating voltage and of a low device loss.

[Composition] A first striped structure consisting of a semi-insulating cladding layer 4, a semi-insulating optical waveguide layer 5, a semi-insulating cladding layer 6, a conductive cladding layer 7, and a semi-insulating cladding layer 8 and a second striped structure consisting of the layers 4 to 7 are crossed and disposed on a substrate 3 including a conductive cladding layer 2, and an electric field is applied to the optical waveguide layer 5 by applying a reverse bias voltage between the substrate 1 and the second striped structure. The conductive cladding layer 7 can be thinned, and therefore a low operating voltage can be realized, and a low loss can be realized by lessening the photoabsorption of propagating light in the conductive cladding layers 2 and 7.

[What is Claimed is;]

[Claim 1] A semiconductor optical modulator comprising:

a semiconductor substrate consisting of a semi-insulating semiconductor substrate and a conductive semiconductor layer, the conductive semiconductor layer being embedded in a part of the semi-insulating semiconductor substrate by a predetermined depth from a surface of the semi-insulating semiconductor substrate, the conductive semiconductor layer forming a flat surface in cooperation with the semi-insulating semiconductor

substrate;

a first semi-insulating cladding layer disposed on the conductive semiconductor layer;

a semi-insulating optical waveguide layer disposed on the first semi-insulating cladding layer;

a second semi-insulating cladding layer disposed on the semi-insulating optical waveguide layer;

a conductive cladding layer disposed on the second semi-insulating cladding layer; and

a third semi-insulating cladding layer disposed on the conductive cladding layer;

wherein a first striped structure is constructed of the first semi-insulating cladding layer, the semi-insulating optical waveguide layer, the second semi-insulating cladding layer, the conductive cladding layer, and the third semi-insulating cladding layer that are superposed on the conductive semiconductor layer; a second striped structure is constructed of the first semi-insulating cladding layer, the semi-insulating optical waveguide layer, the second semi-insulating cladding layer, and the conductive cladding layer, the second striped structure being connected to the first striped structure and being disposed so as to be crossed with the first striped structure; the second striped structure is extended from above the conductive semiconductor layer to above the semi-insulating semiconductor substrate; a second electrode is disposed on the conductive cladding layer of the second striped structure on the semi-insulating semiconductor substrate; and

a first electrode is disposed on a part of the conductive semiconductor layer where the first and second striped structures are not disposed.

[Claim 2] A semiconductor optical modulator according to Claim 1, wherein the semi-insulating optical waveguide layer has a multi-quantum well structure.

[Claim 3] A semiconductor optical modulator according to Claim 1 or Claim 2, wherein the semi-insulating optical waveguide layer is provided with at least one of the first and second semi-insulating cladding layers.

[Claim 4] A semiconductor optical modulator according to any one of claims 1, 2, and 3, wherein a conductive semiconductor substrate is used instead of the semi-insulating semiconductor substrate, and the conductive semiconductor layer is removed.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Technical Field of the Invention] The present invention relates to a semiconductor optical modulator that controls a phase state or light intensity of propagating light that propagates through a semiconductor optical waveguide while applying voltage to the optical waveguide, and more particularly to a semiconductor optical modulator that is used as a super high-speed and low-loss optical modulator and that is widely applied as a basic device for super-span optical communications or for optical information processing.

[0002]

[Prior art] Optical modulators that control a phase state or

intensity of waveguide light while applying voltage to a semiconductor optical waveguide have been keenly researched as devices for fiber optics communication or for optical information processing. In many of these optical modulators, an electrooptic effect in a broad sense is used as the operational principle thereof. Therefore, generally, a sectional structure of the modulator is formed such that a semi-insulating optical waveguide layer is sandwiched by electroconductive cladding layers from both sides so as to heighten interaction between waveguide light and applied voltage and so as to effectively use an electrooptic effect.

[0003] FIG. 8 is a perspective view showing an example of a conventional semiconductor optical modulator (reference document: Kouichi Wakita, "High-speed Electrooptic Phase Modulators Using InGaAs/InAlAs Multiple Quantum Well Waveguides," IEEE Photonics Technology Letters, Vol.1, pp. 441-442, 1989).

[0004] In FIG. 8, 101 is an n type InP substrate, 102 is an n type InAlAs cladding layer, 103 is an optical waveguide layer consisting of a semi-insulating multi-quantum well, 104 is a p type InAlAs cladding layer, and 105 is a p type InGaAs cap layer, which are superposed in this order. The layers 102 to 105 have a mesa stripe structure. 111 is an n type electrode disposed on the lower surface of the substrate 101, 112 is a p type electrode disposed on the upper surface of the cap layer 105, 113 is a SiO₂ film provided in such a way as to cover the upper surface of the substrate 101 and the side face of the mesa

structure, and 114 is a polyimide layer provided on the side face of the mesa structure.

[0005]

[Problems to be Solved by the Invention] This conventional optical modulator has a structure in which both sides of the semi-insulating optical waveguide layer 103 are sandwiched between the p type conductive cladding layer 104 having sufficient thickness and the n type conductive cladding layer 102 and the n type semiconductor substrate 101 connected directly to the n type cladding layer 102. Therefore, waveguide light that propagates while having the center of intensity distribution in the semi-insulating optical waveguide layer 103 propagates through the optical modulator while holding great intensity distribution also in the p type and n type conductive semiconductors 104, 102, and 101 between which the semi-insulating optical waveguide layer 103 is sandwiched. Since light propagating through the thus formed conductive semiconductors undergoes extremely large photoabsorption, the conventional optical modulator has a defect in the fact that the loss of the modulator itself is remarkably large.

[0006] As a conventional structure to lessen the loss of the optical modulator, there is a structure in which a semi-insulating InP cladding layer 122, a semi-insulating InGaAsP optical waveguide layer 123, a semi-insulating InP cladding layer 124, and a p type InP cladding layer 125 are placed on an n type InP substrate 121 in this order as shown in FIG. 9, and in which the semi-insulating cladding layers 122 and 124

are inserted between the optical waveguide layer 123 and the conductive substrate 121 and between the optical waveguide layer 123 and the conductive cladding layer 125, respectively. However, in order to lower the operating voltage of the optical modulator, the thicknesses of the semi-insulating cladding layers 122 and 124 cannot be increased, and, as a result, it is impossible to remarkably reduce light intensity distribution in the conductive cladding layer 125.

[0007] It is therefore an object of the present invention to provide a waveguide type optical modulator by voltage application in which an operating voltage is extremely low, and a device loss is also extremely small.

[0008]

[Means for Solving the Problems] In order to achieve this object, the invention according to Claim 1 is characterized by comprising: a semiconductor substrate consisting of a semi-insulating semiconductor substrate and a conductive semiconductor layer, the conductive semiconductor layer being embedded in a part of the semi-insulating semiconductor substrate by a predetermined depth from a surface of the semi-insulating semiconductor substrate, the conductive semiconductor layer forming a flat surface in cooperation with the semi-insulating semiconductor substrate; a first semi-insulating cladding layer disposed on the conductive semiconductor layer; a semi-insulating optical waveguide layer disposed on the first semi-insulating cladding layer; a second semi-insulating cladding layer disposed on the semi-insulating optical waveguide

layer; a conductive cladding layer disposed on the second semi-insulating cladding layer; and a third semi-insulating cladding layer disposed on the conductive cladding layer; wherein a first striped structure is constructed of the first semi-insulating cladding layer, the semi-insulating optical waveguide layer, the second semi-insulating cladding layer, the conductive cladding layer, and the third semi-insulating cladding layer that are superposed on the conductive semiconductor layer; a second striped structure is constructed of the first semi-insulating cladding layer, the semi-insulating optical waveguide layer, the second semi-insulating cladding layer, and the conductive cladding layer, the second striped structure being connected to the first striped structure and being disposed so as to be crossed with the first striped structure; the second striped structure is extended from above the conductive semiconductor layer to above the semi-insulating semiconductor substrate; a second electrode is disposed on the conductive cladding layer of the second striped structure on the semi-insulating semiconductor substrate; and a first electrode is disposed on a part of the conductive semiconductor layer where the first and second striped structures are not disposed.

[0009] The invention according to Claim 2 is characterized in that the semi-insulating optical waveguide layer has a multi-quantum well structure.

[0010] The invention according to Claim 3 is characterized in that the semi-insulating optical waveguide layer is provided

with at least one of the first and second semi-insulating cladding layers.

[0011] The invention according to Claim 4 is characterized in that a conductive semiconductor substrate is used instead of the semi-insulating semiconductor substrate, and the conductive semiconductor layer is removed.

[0012]

[Action] According to the waveguide type optical modulator by voltage application of the present invention, both an operating voltage and a device loss can be lowered to such an extent that these cannot be theoretically lowered in the conventional optical modulator. In the conventional waveguide type optical modulator by voltage application, the lowering of an operating voltage has inevitably caused an increase in the loss of the optical modulator itself. In other words, a waveguide type optical modulator having characteristics satisfying both a low operating voltage and a low device loss was not able to be realized according to the conventional technique. In contrast, in the waveguide type optical modulator of the present invention, both the low operating voltage and the low device loss that are in a trade-off relationship with each other can be simultaneously satisfied by using a structure in which semi-insulating cladding layers are disposed on both sides, respectively, of a semi-insulating optical waveguide layer and in which conductive cladding layers are disposed on both outer surfaces of these semi-insulating cladding layers.

[0013] Operations in a practical low voltage region can be

performed by the optical modulator of the present invention, this being extremely effective especially when the modulator is operated at high speed. Furthermore, according to the present invention, since a device loss with respect to signal light is reduced, the attenuation of the intensity of signal light can be avoided not only when only one optical modulator is used but also when a plurality of optical modulators are connected together in longitudinal array.

[0014]

[Embodiments] Embodiments of the present invention will be hereinafter described in detail with reference to the drawings.

[0015] (Embodiment 1) FIG. 1 is a perspective view showing a first embodiment of the semiconductor optical modulator of the present invention, and FIG. 2 is a sectional view along line A-A' of FIG. 1.

[0016] Herein, 1 is a semi-insulating semiconductor substrate, and 2 is a conductive semiconductor layer embedded in the substrate 1. The semi-insulating semiconductor substrate 1 and the conductive semiconductor layer 2 constitute a semiconductor substrate 3 having a flat surface. 4 is a semi-insulating cladding layer, 5 is a semi-insulating optical waveguide layer, 6 is a semi-insulating cladding layer, 7 is a conductive cladding layer, and 8 is a semi-insulating cladding layer. These layers 4 to 8 are superposed on the semiconductor substrate 3 in this order, and a striped structure 21 is formed of these layers 4 to 8. A second striped structure 22 is formed of the layers 4 to 7 so as to be crossed with the striped structure 21 and

so as to make an angle greater than, for example, ten degrees therewith, and both striped structures 21 and 22 are connected together. An electrode 31 is disposed on the conductive cladding layer 7, which is the uppermost layer of the striped structure 22. Further, an electrode 32 is disposed on the conductive semiconductor layer 2. An electric field can be effectively applied to the semi-insulating optical waveguide layer 55 by applying a reverse bias voltage between the two electrodes 31 and 32.

[0017] A structural feature of the semiconductor optical modulator of the present invention can be easily understood by the sectional view of FIG. 2. That is, since the conductive cladding layers 2 and 7 disposed under and above the optical waveguide layer 5 can be thinned to apply an electric field to the semi-insulating optical waveguide layer 5 for modulation, optical field distribution in the conductive cladding layers 2 and 7 can be reduced. Therefore, the photoabsorption of propagating light in the conductive cladding layers 2 and 7 can be reduced.

[0018] FIG. 3 shows a calculation result of a propagation loss of an optical waveguide having this structure. The calculation was performed concerning a slab optical waveguide shown in FIG. 4, and, to be compared with this, also the conventional semiconductor optical modulator shown in FIG. 9. According to FIG. 3, it is understood that the structure of the present invention shown in FIG. 4 makes it possible to make the propagation loss smaller by 40% or more than the conventional technique.

[0019] Since the thus thinned conductive cladding layers 2 and 7 can remarkably reduce the absorption of propagating light in comparison with the conductive cladding layer 125 having such a great thickness as shown in the conventional technique, the distance between the conductive cladding layers 2 and 7 disposed under and above the semi-insulating optical waveguide layer 5 can be shortened under a state in which the propagation loss caused by photoabsorption is kept at a fixed level. Therefore, when voltage applied from the outside is made constant, the intensity of an electric field in the optical waveguide layer 5 can be raised, and the modulation efficiency of the optical modulator can be greatly improved.

[0020] Since the first striped structure 21 is greater in height of the stripe by the thickness of the semi-insulating cladding layer 8 than the second striped structure 22, the equivalent refractive index of the first striped structure 21 becomes greater than the equivalent refractive index of the second striped structure 22. As a result, waveguide light that propagates through the semi-insulating optical waveguide layer 5 disposed just under the first striped structure 21 has few cases in which its waveguide characteristics are affected by the second striped structure 22.

[0021] Still additionally, since the second striped structure 22 is connected to the first striped structure 21 in such a way as to be crossed with the first striped structure 21, for example, at an angle of ten or more degrees, waveguide light propagating through the semi-insulating optical waveguide layer 5 disposed

just under the first striped structure 21 becomes even smaller in influence in waveguide characteristics received by the second striped structure 22. Therefore, advantageously, the disorder of waveguide light caused by the second striped structure 22 for forming an electrode used to apply voltage is negligible, and the waveguide characteristics are the same as waveguide characteristics in a single optical waveguide formed of only the first striped structure 21.

[0022] (Embodiment 2) FIG. 5 shows a second embodiment of the present invention, and the basic structure is the same as in the first embodiment shown in FIG. 1 and FIG. 2. However, there are formed a plurality of second striped structures 22 for the formation of an electrode pad used to apply voltage that is connected to a main optical waveguide through which an optical signal propagates, which corresponds to the first striped structure 21 in FIG. 1 and FIG. 2, in such a way as to be crossed therewith, for example, at an angle of ten or more degrees. Thereby, as an advantageous effect, resistance between the electrode 31 and the conductive cladding layer 7 disposed above the semi-insulating optical waveguide layer 5 is lowered, and the high-frequency characteristics of the optical modulator are improved.

[0023] (Embodiment 3) FIG. 6 shows a third embodiment of the present invention, and the basic structure is the same as in the first embodiment shown in FIG. 1 and FIG. 2. However, there are formed a plurality of second striped structures 22 for the formation of an electrode pad used to apply voltage that is

connected to a main optical waveguide through which an optical signal propagates, which corresponds to the first striped structure 21 in FIG. 1 and FIG. 2, in such a way as to be crossed therewith, for example, at an angle of ten or more degrees, and parts of these second striped structures 22 on which the electrodes 31 are disposed are connected together, so that the single electrode 31 can be disposed. Thereby, as an advantageous effect, resistance between the electrode 31 and the conductive cladding layer 7 disposed above the semi-insulating optical waveguide layer 5 is lowered, and the high-frequency characteristics of the optical modulator are improved, and, advantageously, efficient wiring can be achieved by unifying the plurality of electrodes 31.

[0024] (Embodiment 4) FIG. 7 shows a fourth embodiment of the present invention, and the basic structure is roughly equivalent to the structure in which two semiconductor optical modulators, each of which is the semiconductor optical modulator of the present invention shown in FIG. 1 and FIG. 2, are disposed in parallel with each other. However, this is different from the first embodiment shown in FIG. 1 and FIG. 2 in the fact that the layers 4 to 6 are planarly formed, that the first striped structure 21 is formed of a part of the semi-insulating cladding layer 6, the conductive cladding layer 7, and the semi-insulating cladding layer 8, that the two striped structures 21 are disposed in parallel, and that the second striped structure 22 is formed of a part of the layer 6 and the layer 7.

[0025] The reason is that, in the fourth embodiment shown in

FIG. 7, the structure is formed so that voltage can be applied independently to the two optical modulators parallel to each other and so that the semi-insulating optical waveguide layer 5 continuously exists without being cut by parts just under the two optical modulators and by a gap therebetween, whereby waveguide light of the optical modulators can interact with each other.

[0026] Further, a hole 40 is bored into the layers 4 to 6, and, through this hole 40, the electrode 32 is disposed on the conductive semiconductor layer 2 disposed just under the two optical modulators parallel to each other. Thereby, the electrode 32 connected to the layer 2 can be disposed to be shared between the two optical modulators.

[0027] This structure allows the fourth embodiment shown in FIG. 7 to perform a function as a directional coupler.

[0028] As a matter of course, the directional coupler shown in the fourth embodiment has both the advantage of a low operating voltage and the advantage of a low device loss as in the first to third embodiments.

[0029] In the first to fourth embodiments mentioned above, a bulk crystal or a multi-quantum well structure may be employed as the optical waveguide layer of the optical modulator. In the former case, a Franz-Keldysh effect and an electrooptic effect are used as a method of controlling waveguide light by voltage application, and, in the latter case, a quantum Stark effect and an electrooptic effect are used as the method.

[0030] In the embodiments described above, the semi-insulating

cladding layers 4 and 6 are disposed on the lower surface and the upper surface, respectively, of the optical waveguide layer 5, but, without limiting the present invention to these embodiments, the semi-insulating cladding layer 4 or 6 may be disposed on at least one surface of the optical waveguide layer 5.

[0031] In the embodiments described above, a substrate in which the conductive semiconductor layer 2 is embedded in the semi-insulating semiconductor substrate 1 is used as the semiconductor substrate 3, but, without limiting the present invention to this example, a conductive semiconductor substrate, such as an n type InP substrate, in which the conductive semiconductor layer 2 is not embedded, may be used instead of the semiconductor substrate 3.

[0032]

[Effects of the Invention] According to the present invention, semi-insulating cladding layers are disposed on both surfaces, respectively, of a semi-insulating optical waveguide layer, and conductive cladding layers are disposed on both outer faces of these semi-insulating cladding layers, and therefore these conductive cladding layers can be thinned, and hence the photoabsorption of propagating light in the conductive cladding layer can be reduced. Hence, according to the present invention, operations can be performed in a practical low voltage region. This is extremely effective especially when the modulator is operated at high speed. Additionally, according to the present invention, since a device loss with respect to signal light is

reduced, the attenuation of the intensity of signal light can be avoided not only when a single optical modulator is used but also when a plurality of optical modulators are connected together in longitudinal array.

[Brief Description of the Drawings]

[FIG. 1] A perspective view showing the first embodiment of the present invention.

[FIG. 2] A sectional view along line AA' of FIG. 1 of the first embodiment of the present invention.

[FIG. 3] A view showing a calculation result of a propagation loss of the optical waveguide in the present invention.

[FIG. 4] A sectional view showing a slab type optical waveguide model used in the calculation of the propagation loss of FIG. 3.

[FIG. 5] A perspective view showing the second embodiment of the present invention.

[FIG. 6] A perspective view showing the third embodiment of the present invention.

[FIG. 7] A perspective view showing the fourth embodiment of the present invention.

[FIG. 8] A perspective view showing the prior art.

[FIG. 9] A sectional view showing another prior art.

[Description of Symbols]

- 1 Semi-insulating semiconductor substrate
- 2 Conductive semiconductor layer
- 3 Semiconductor substrate
- 4 Semi-insulating cladding layer

5 Semi-insulating optical waveguide layer
6 Semi-insulating cladding layer
7 Conductive cladding layer
8 Semi-insulating cladding layer
21 First striped structure
22 Second striped structure
31,32 Electrode
40 Hole
101 n type InP substrate
102 n type InAlAs cladding layer
103 Semi-insulating multi-quantum well optical waveguide layer
104 p type InAlAs cladding layer
105 p type InGaAs cap layer
111 n type electrode
112 p type electrode
113 SiO₂ film
114 Polyimide layer
121 n type InP substrate
122 Semi-insulating InP cladding layer
123 Semi-insulating InGaAsP optical waveguide layer
124 Semi-insulating InP cladding layer
125 p type InP cladding layer

FIG. 3

(1) Propagation loss

(2) Semi-insulating InP cladding layer thickness

FIG. 4

8 Semi-insulating InP cladding layer

7 p type InP cladding layer

6 Semi-insulating InP cladding layer

5 Semi-insulating InGaAsP optical waveguide layer

4 Semi-insulating InP cladding layer

2 n type InP cladding layer

1 Semi-insulating InP substrate

FIG. 9

125 p type InP cladding layer

124 Semi-insulating InP cladding layer

123 Semi-insulating InGaAsP optical waveguide layer

122 Semi-insulating InP cladding layer

121 n type InP substrate

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-27279

(43) 公開日 平成5年(1993)2月5日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35		7246-2K		
1/025		8106-2K		

審査請求 未請求 請求項の数4(全9頁)

(21) 出願番号	特願平3-181228	(71) 出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号
(22) 出願日	平成3年(1991)7月22日	(72) 発明者	竹内 博昭 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	神徳 正樹 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	吉本 直人 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 谷 義一 (外1名)

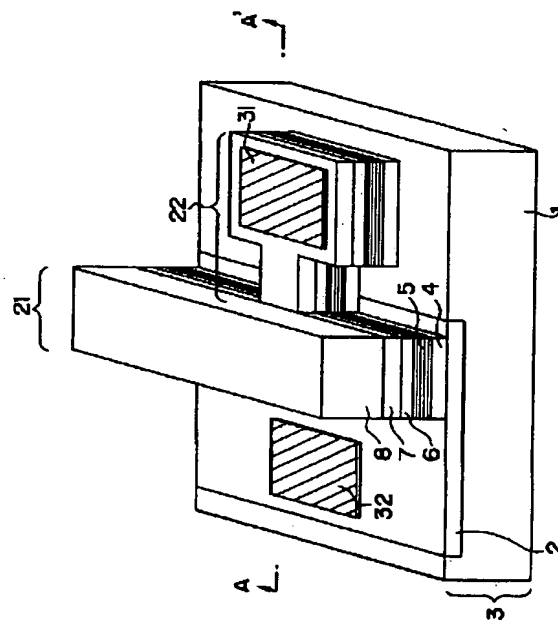
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体光変調器

(57) 【要約】

【目的】 低動作電圧かつ低デバイス損失の電圧印加による導波路形光変調器を提供する。

【構成】 導電性クラッド層2を含む基板3上に、半絶縁性クラッド層4、半絶縁性光導波層5、半絶縁性クラッド層6、導電性クラッド層7、半絶縁性クラッド層8による第1のストライプ構造と、層4～7による第2のストライプ構造とを交差して配置し、基板1と第2のストライプとの間に逆バイアス電圧を印加して光導波層5に電界を印加する。導電性クラッド層7を薄くすることができ、以て低動作電圧を実現でき、かつ導電性クラッド層2および7での伝搬光の光吸収を低減して低損失を実現できる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 半絶縁性半導体基板および該半絶縁性半導体基板の一部に当該半絶縁性半導体基板の表面から一定の深さだけ埋め込まれ、かつ該半絶縁性半導体基板と平坦な表面を形成する導電性半導体層からなる半導体基板と、

前記導電性半導体層上に配置された第1の半絶縁性クラッド層と、

該第1の半絶縁性クラッド層上に配置された半絶縁性光導波層と、

該半絶縁性光導波層上に配置された第2の半絶縁性クラッド層と、

該第2の半絶縁性クラッド層上に配置された導電性クラッド層と、

該導電性クラッド層上に配置された第3の半絶縁性クラッド層とを具え、

前記第1の半絶縁性クラッド層、前記半絶縁性光導波層、前記第2の半絶縁性クラッド層、前記導電性クラッド層および第3の半絶縁性クラッド層により前記導電性半導体層上に第1のストライプ構造を構成し、前記第1の半絶縁性クラッド層、前記半絶縁性光導波層、前記第2の半絶縁性クラッド層および前記導電性クラッド層により前記第1のストライプ構造に接続され、かつ前記第1のストライプ構造と交叉するように配置された第2のストライプ構造を構成し、該第2のストライプ構造を前記導電性半導体層の上方から前記半絶縁性半導体基板の上方へ延在させ、前記半絶縁性半導体基板上の当該第2のストライプ構造の前記導電性クラッド層の上に第2の電極を配設し、前記導電性半導体層のうち前記第1および第2のストライプ構造が配置されていない部分の上に第1の電極を配設したことを特徴とする半導体光変調器。

【請求項2】 請求項1記載の半導体光変調器において、前記半絶縁性光導波層は多重量子井戸構造を有することを特徴とする半導体光変調器。

【請求項3】 請求項1または2記載の半導体光変調器において、前記半絶縁性光導波層に対して前記第1および第2の半絶縁性クラッド層のうちの少なくとも一方を設けたことを特徴とする半導体光変調器。

【請求項4】 請求項1、2または3のいずれかの項に記載の半導体光変調器において、前記半絶縁性半導体基板の代わりに導電性半導体基板を用い、および前記導電性半導体層を除去したことを特徴とする半導体光変調器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、半導体光導波路に電圧を印加し、光導波路を伝搬する伝搬光の位相状態、あるいは光強度を制御する半導体光変調器に関するものであり、特に、超高速かつ低損失な光変調器として、超スバ

2

ン光通信や光情報処理の基幹デバイスとして広く応用される半導体光変調器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 半導体光導波路に電圧を印加して、導波光の位相状態や強度を制御する光変調器は、光ファイバ通信用あるいは光情報処理用のデバイスとして盛んに研究されている。これらの光変調器では、広い意味での電気光学効果をその動作原理として利用するものが多い。したがって、変調器の断面構造としては、半絶縁性の光導波層を導電性のクラッド層によって両側から挟み込み、導波光と印加電圧との相互作用を高め、電気光学効果を有効に利用する構造が一般的である。

【0003】 図8は、従来の半導体光変調器の一例を示す斜視図である（参考文献：Kouichi Wakita, "High-speed Electrooptic Phase Modulators Using InGaAs/InAlAs Multiple Quantum Well Waveguides", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 1, pp. 441-442, 1989）。

【0004】 図8において、101はn形InP基板、102はn形InAlAsクラッド層、103は半絶縁性多重量子井戸からなる光導波層、104はp形InAlAsクラッド層、105はp形InGaAsキャップ層であって、この順序に積層されている。層102～105はメサストライプ構造をなす。111は基板101の下面に配設したn形電極、112はキャップ層105の上面に配設したp形電極、113は基板101の上面とメサ構造の側面とを覆うように設けたSiO₂膜、114はメサ構造の側面に設けたポリイミド層である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 この従来形の光変調器では、半絶縁性光導波層103の両側を層厚が十分に厚いp形の導電性クラッド層104とn形の導電性クラッド層102およびこのn形クラッド層102に直接接続するn形半導体基板101とで挟み込む構造となっている。したがって、半絶縁性光導波層103に強度分布の中心を持ちながら伝搬する導波光は、この半絶縁性光導波層103を挟むp形とn形の導電性半導体104、102および101中にも大きな強度分布を保持しながら、光変調器中を伝搬する。このような導電性半導体中を伝搬する光は極めて大きな光吸収を受けるので、このような従来形の光変調器では変調器自体の損失が著しく大きいという欠点を有することになる。

【0006】 光変調器自体の損失を低減する従来例の構造としては、図9に示すように、n形InP基板121上に半絶縁性InPクラッド層122、半絶縁性InGaAsP光導波層123、半絶縁性InPクラッド層124、p形InPクラッド層125をこの順序に配置し

3

て、光導波層123と導電性基板121および導電性クラッド層125との間に半絶縁性クラッド層122および124を挿入した構造がある。しかしながら、光変調器の動作電圧を低くするためには、この半絶縁性クラッド層122、124の層厚を厚くすることができず、結果的に導電性クラッド層125中の光強度分布を著しく低減することは不可能である。

【0007】そこで、本発明の目的は、電圧印加による導波路形光変調器において、動作電圧が極めて低く、かつデバイス損失も極めて小さい光変調器を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するために、請求項1記載の発明は、半絶縁性半導体基板および該半絶縁性半導体基板の一部に当該半絶縁性半導体基板の表面から一定の深さだけ埋め込まれ、かつ該半絶縁性半導体基板と平坦な表面を形成する導電性半導体層からなる半導体基板と、前記導電性半導体層上に配置された第1の半絶縁性クラッド層と、該第1の半絶縁性クラッド層上に配置された半絶縁性光導波層と、該半絶縁性光導波層上に配置された第2の半絶縁性クラッド層と、該第2の半絶縁性クラッド層上に配置された導電性クラッド層と、該導電性クラッド層上に配置された第3の半絶縁性クラッド層とを具え、前記第1の半絶縁性クラッド層、前記半絶縁性光導波層、前記第2の半絶縁性クラッド層、前記導電性クラッド層および第3の半絶縁性クラッド層により前記導電性半導体層上に第1のストライプ構造を構成し、前記第1の半絶縁性クラッド層、前記半絶縁性光導波層、前記第2の半絶縁性クラッド層および前記導電性クラッド層により前記第1のストライプ構造に接続され、かつ前記第1のストライプ構造と交叉するように配置された第2のストライプ構造を構成し、該第2のストライプ構造を前記導電性半導体層の上方から前記半絶縁性半導体基板の上方へ延在させ、前記半絶縁性半導体基板上の当該第2のストライプ構造の前記導電性クラッド層の上に第2の電極を配設し、前記導電性半導体層のうち前記第1および第2のストライプ構造が配置されていない部分の上に第1の電極を配設したことを特徴とする。

【0009】請求項2記載の発明は、前記半絶縁性光導波層は多重量子井戸構造を有することを特徴とする。

【0010】請求項3記載の発明は、前記半絶縁性光導波層に対して前記第1および第2の半絶縁性クラッド層のうちの少なくとも一方を設けたことを特徴とする。

【0011】請求項4記載の発明は、前記半絶縁性半導体基板の代わりに導電性半導体基板を用い、および前記導電性半導体層を除去したことを特徴とする。

【0012】

【作用】本発明の電圧印加による導波路形光変調器によれば、動作電圧とデバイス損失の両方がともに、従来形

4

の光変調器では原理的に不可能な程度にまで低減することができる。従来の電圧印加による導波路形光変調器においては、動作電圧の低減化は必然的に光変調器自体の損失増大の原因となっていた。すなわち、低動作電圧と低デバイス損失の両方を満足する特性をもつ導波路形光変調器は、従来技術では実現不可能であった。これに対して、本発明の導波路形光変調器では、半絶縁性光導波層の両面にそれぞれ半絶縁性クラッド層を配置し、これら半絶縁性クラッド層の両外側面に導電性クラッド層を配置した構造を用いることにより、互いにトレードオフの関係にある低動作電圧と低デバイス損失の両方を同時に満足することができる。

【0013】本発明の光変調器により、実用的な低電圧領域での動作が可能となり、これは特に変調器を高速動作させる場合に極めて有効となる。さらには、本発明によれば、信号光に対するデバイス損失が低減されることにより、光変調器単体で用いる場合だけでなく、複数の光変調器を縦列に接続した場合にも信号光強度の減衰を回避することができる。

【0014】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

【0015】（実施例1）図1は、本発明の半導体光変調器の第1の実施例を示す斜視図、図2は図1の線A-A'に沿った断面図である。

【0016】ここで、1は半絶縁性半導体基板、2は基板1に埋め込まれた導電性半導体層であり、これら半絶縁性半導体基板1と導電性半導体層2とから平坦な表面をもつ半導体基板3を構成する。4は半絶縁性クラッド層、5は半絶縁性光導波層、6は半絶縁性クラッド層、7は導電性クラッド層、8は半絶縁性クラッド層であって、半導体基板3の上にこれらの層4～8をこの順序に積層し、さらにこれらの層4～8によってストライプ構造21を形成する。このストライプ構造21に対して交差するように、たとえば10度以上の角度をなすように第2のストライプ構造22を層4～7により構成し、両ストライプ構造21と22とを接続する。ストライプ構造22の最上層である導電性クラッド層7上には電極31を配設する。さらに、導電性半導体層2上には電極32を配設する。これら2つの電極31と32との間に逆バイアス電圧を印加することによって、半絶縁性光導波層55電界を有効に印加することができる。

【0017】本発明の半導体光変調器の構造上の特徴は、図2に示した断面図によって理解し易い。すなわち、半絶縁性光導波層5に変調のための電界を印加するために、光導波層5の上下に配置された導電性クラッド層2と7を薄くすることができるので、導電性クラッド層2および7中の光界分布を低減することができる。それゆえ、導電性クラッド層2および7中における伝搬光の光吸収を低減することができる。

5

【0018】図3は、このような構造をもつ光導波路の伝搬損失の計算結果である。計算では、図4に示すようなスラブ光導波路を対象とし、これと対比すべく、図9に示した従来技術の半導体光変調器をも対象とした。図3によれば、図4に示した本発明の構造により、伝搬損失を従来技術に比べて40%以上低減することが可能となることがわかる。

【0019】このように薄い導電性クラッド層2、7は、従来技術にみられる厚い導電性クラッド層125に比べて伝搬光の吸収を著しく低減できるので、光吸収による伝搬損失を一定に保った状態で、半絶縁性光導波層5の上下の導電性クラッド層2と7との間の距離を短くすることが可能となる。したがって、外部からの印加電圧を一定にした場合に光導波層5内の電界強度を増加させることが可能となり、光変調器の変調効率の大幅な改善が実現される。

【0020】第1のストライプ構造21は、第2のストライプ構造22に比べ半絶縁性クラッド層8の分だけストライプの高さが高いため、第1のストライプ構造21のもつ等価屈折率は第2のストライプ構造22のもつ等価屈折率よりも大きくなる。その結果、第1のストライプ構造21の直下の半絶縁性光導波層5を伝搬する導波光が、第2のストライプ構造22によってその導波特性に影響を受けることは極めて少ない。

【0021】さらに加えて、第2のストライプ構造22が第1のストライプ構造21に対して、10度以上の角度をもつなどのように交差して接続されているので、第1のストライプ構造21の直下の半絶縁性光導波層5を伝搬する導波光が第2のストライプ構造22によって受ける導波特性上の影響は一層小さくなる。したがって、電圧印加用電極形成のための第2のストライプ構造22による導波光の乱れは無視でき、第1のストライプ構造21だけからなる単一光導波路での導波特性と同一であるという利点をも有する。

【0022】（実施例2）図5は、本発明の第2の実施例を示すものであって、基本的な構造は図1および図2に示した第1の実施例と同様である。ただし、図1および図2における第1のストライプ構造21に対応する、光信号が伝搬するための主たる光導波路に対して、10度以上の角度をなすなどして交差するように接続された電圧印加用の電極パッド形成のための第2のストライプ構造22を複数個形成することによって、電極31と半絶縁性光導波層5の上方の導電性クラッド層7との間の抵抗を低減し、光変調器の高周波特性を改善する効果を有する。

【0023】（実施例3）図6は、本発明の第3の実施例を示すものであって、基本的な構造は図1および図2に示した第1の実施例と同様である。ただし、図1および図2における第1のストライプ構造21に対応する、光信号が伝搬するための主たる光導波路に対して、10

6

度以上の角度をなすなどして交差するように接続された電圧印加用の電極パッド形成のための第2のストライプ構造22を複数個形成し、かつこれら第2のストライプ構造22のうち、電極31を配置する部分を互いに接続して、単一の電極31を配置できるようにする。これによって、電極31と半絶縁性光導波層5の上方の導電性クラッド層7との間の抵抗を低減し、光変調器の高周波特性を改善する効果を有すると共に、複数の電極31を一体化して配線の効率化を図れるという利点をも有する。

【0024】（実施例4）図7は、本発明の第4の実施例を示すものであって、基本的な構造はおおよそ図1および図2に示した本発明の半導体光変調器を互いに平行に2本配置したものに相当する。ただし、層4〜6を平面状に形成し、第1のストライプ構造21が、半絶縁性クラッド層6の一部と導電性クラッド層7と半絶縁性クラッド層8とから構成し、かつ2本のストライプ構造21が平行に配置されるようになり、および第2のストライプ構造22を層6の一部分と層7とから構成した点が、図1および図2に示した第1の実施例と異なる点である。

【0025】この理由は、図7に示した第4の実施例では、互いに平行な2本の光変調器に独立に電圧を印加できるように構成し、かつ半絶縁性光導波層5をこの2本の光変調器の直下と間隙部とで切断されることなく連続して存在させることによって、それぞれの光変調器の導波光が互いに相互作用できるように構成したからである。

【0026】また、層4〜6に穴40をあけて、この穴40を介して互いに平行な2本の光変調器の直下に配置した導電性半導体層2の上に電極32を配設する。これにより、層2に接続された電極32は、これら2本の光変調器に対して共通に配置されることになる。

【0027】このような構造によって、図7に示した第4の実施例は、方向性結合器としての機能動作をすることができる。

【0028】なお、この第4の実施例に示した方向性結合器は、第1から第3までの実施例と同様に、低動作電圧と低デバイス損失の利点を同時に有していることは言うまでもない。

【0029】以上の実施例1から4において、光変調器の光導波路としては、バルク結晶であっても多重量子井戸構造であってもよい。前者の場合には、電圧印加による導波光の制御方法としてフランツケルディッシュ効果と電気光学効果を利用し、後者の場合には、量子シュタルク効果と電気光学効果を利用することになる。

【0030】なお、以上に述べた実施例では、光導波層5の上面および下面の双方に半絶縁性クラッド層4および6をそれぞれ設けたが、本発明はこれら実施例に限られず、光導波層5の少なくとも一方の面に半絶縁性クラ

7

ッド層4または6を設けるのみでもよい。

【0031】 上述した実施例では、半導体基板3として、半絶縁性半導体基板1に導電性半導体層2を埋め込んだものを用いたが、本発明はこの例に限られるものではなく、たとえば、かかる半導体基板3に代えて、導電性半導体層2を埋め込んでいないn形InP基板などの導電性半導体基板を用いることもできる。

【0032】

【発明の効果】 本発明によれば、半絶縁性光導波層の両面にそれぞれ半絶縁性クラッド層を配置し、これら半絶縁性クラッド層の両外側面に導電性クラッド層を配置したので、これら導電性クラッド層を薄くすることができ、以て、導電性クラッド層中での伝搬光の光吸収を低減することができる。これにより、本発明によれば、実用的な低電圧領域での動作が可能となり、これは特に変調器を高速動作させる場合に極めて有効となる。さらには、本発明によれば、信号光に対するデバイス損失が低減されることにより、光変調器単体で用いる場合だけでなく、複数の光変調器を縦列に接続した場合にも信号光強度の減衰を回避することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施例を示す斜視図である。

【図2】 本発明の第1の実施例についての図1のAA'線断面図である。

【図3】 本発明における光導波路の伝搬損失の計算結果を示す図である。

【図4】 図3の伝搬損失の計算で用いたスラブ形光導波路モデルを示す断面図である。

【図5】 本発明の第2の実施例を示す斜視図である。

【図6】 本発明の第3の実施例を示す斜視図である。

8

【図7】 本発明の第4の実施例を示す斜視図である。

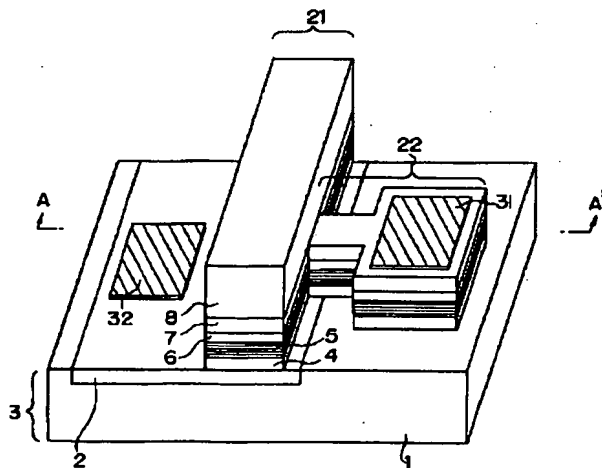
【図8】 従来例を示す斜視図である。

【図9】 他の従来例を示す断面図である。

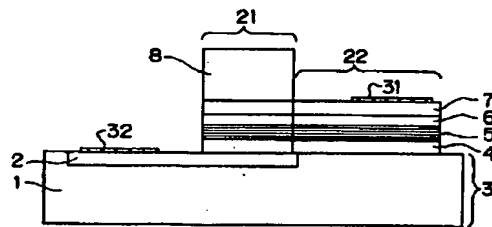
【符号の説明】

- 1 半絶縁性半導体基板
- 2 導電性半導体層
- 3 半導体基板
- 4 半絶縁性クラッド層
- 5 半絶縁性光導波層
- 6 半絶縁性クラッド層
- 7 導電性クラッド層
- 8 半絶縁性クラッド層
- 21 第1のストライプ構造
- 22 第2のストライプ構造
- 31, 32 電極
- 40 穴
- 101 n形InP基板
- 102 n形InAlAsクラッド層
- 103 半絶縁性多重量子井戸光導波層
- 104 p形InAlAsクラッド層
- 105 p形InGaAsキャップ層
- 111 n形電極
- 112 p形電極
- 113 SiO₂膜
- 114 ポリイミド層
- 121 n形InP基板
- 122 半絶縁性InPクラッド層
- 123 半絶縁性InGaAsP光導波層
- 124 半絶縁性InPクラッド層
- 125 p形InPクラッド層

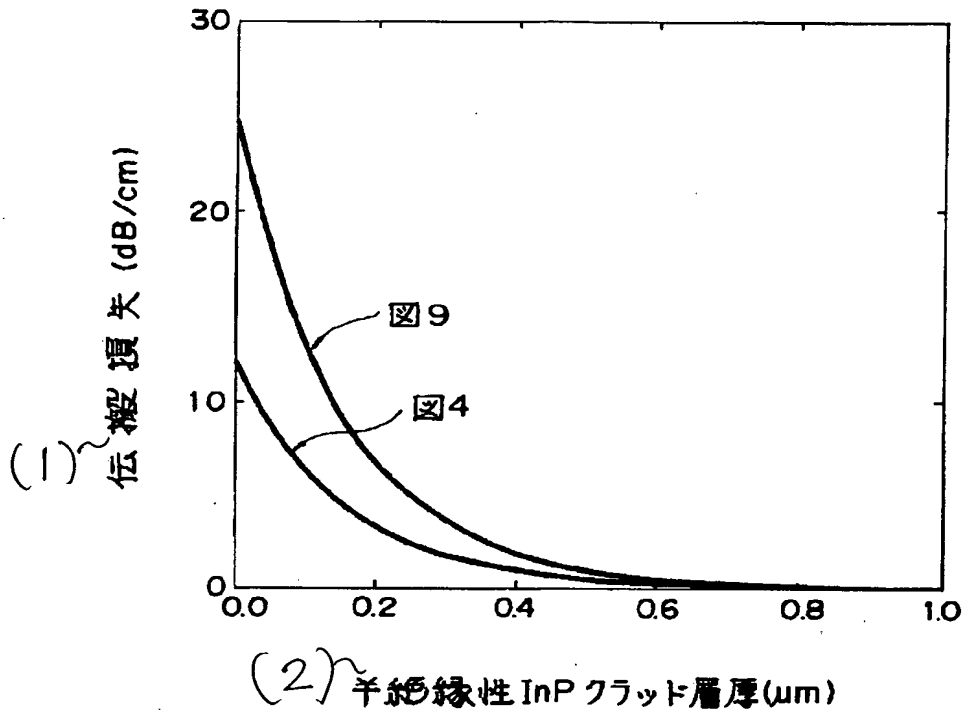
【図1】



【図2】



【図3】



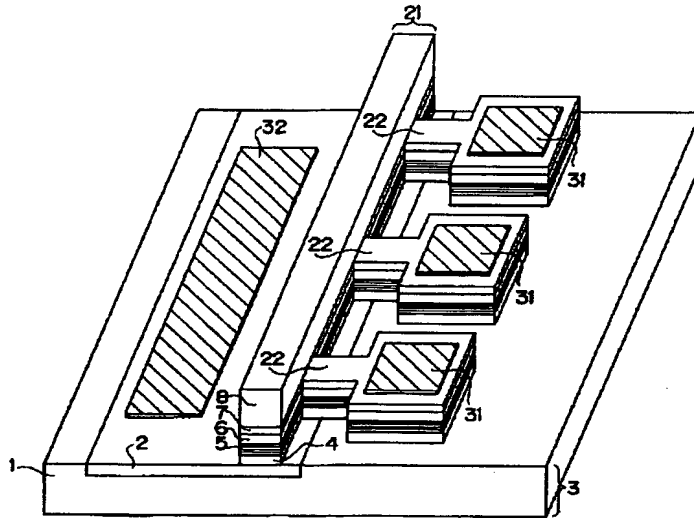
【図4】

半絶縁性InPクラッド層	〜8
p 形 InP クラッド層	〜7
半絶縁性InP クラッド層	〜6
半絶縁性InGaAsP光導波層	〜5
半絶縁性InP クラッド層	〜4
n 形 InP クラッド層	〜2
半絶縁性InP 基板	〜1

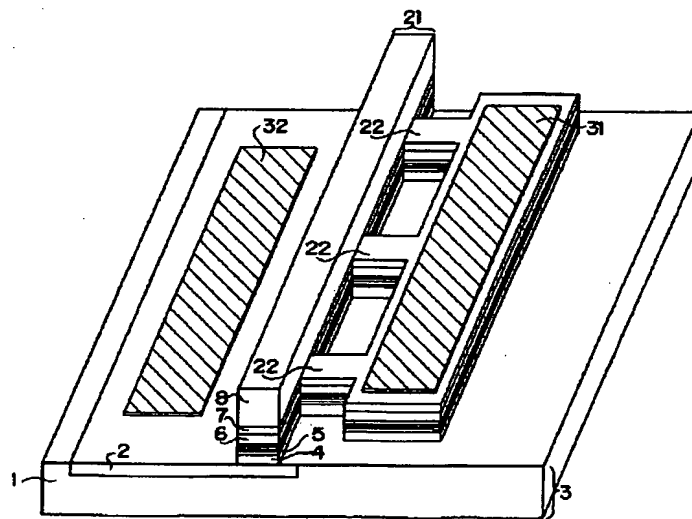
(7)

特開平5-27279

【図5】



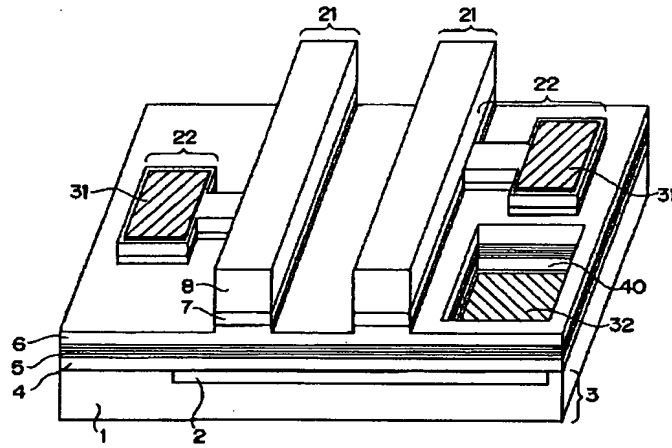
【図6】



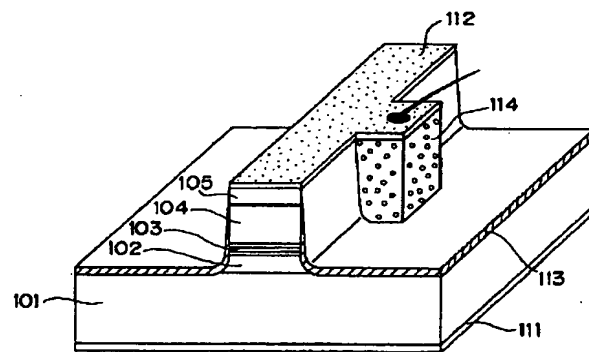
(8)

特開平5-27279

【図7】



【図8】



【図9】

p 形 InP クラッド層	—125
半絶縁性 InP クラッド層	—124
半絶縁性 InGaAsP 光導波層	—123
半絶縁性 InP クラッド層	—122
n 形 InP 基板	—121

フロントページの続き

(72)発明者 蓮見 裕二

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 河野 健治

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 渡部 直也

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.